

## **ANALISIS DISTORSI DAN TEGANGAN SISA PADA POROS KAPAL TERHADAP PERLAKUAN PANAS (*QUENCHING*) MENGUNAKAN FEM**

### ***Distorsion and Residual Stress Analysis on Solid Silender of Quenching Treatment with FEM***

**Mahendra Indriyanto**

UPT Balai Pengkajian dan Penelitian Hidrodinamika, BPPT-Surabaya

Email : indriyanto@gmail.com

Diterima: 13 Juni 2013; Direvisi: 21 Juni 2013; Disetujui: 3 Juli 2013

#### **Abstrak**

Pada bidang perkapalan sistem propulsi kapal merupakan salah satu bagian yang penting. Dimana poros kapal terbuat dari silinder pejal yang mempunyai kekerasan struktur dan kuat tarik material. Sehingga apabila diberikan perlakuan panas (Quenching) akan meningkatkan kekerasan dan kuat tarik struktur poros, serta terjadi perubahan distorsi dan tegangan sisa. Jadi dengan adanya perubahan ini perlu di analisa, sehingga pengaruh distorsi dan tegangan sisa tidak melebihi batas yang di izinkan. Analisa ini menggunakan Metode Elemen Hingga (*Finite Element Methods*) dengan bentuk silinder pejal (poros).

Kata kunci : distorsi, tegangan sisa, quenching, poros, metode elemen hingga

#### **Abstract**

*In naval Architect, shafting system is important part. Shaft is made from solid cylinder that of course has structure hardness and tensile strenght. So give heat treatment (Quenching) will increase hardness and tensile strenght on shaft. As well as change in distortion and residual stresses. So with these changes need to be analyzed, so that the effect of distortion and residual stress not exceed the authorized limit. This analysis using the Finite Element Method (Finite Element Methods) with a solid cylindrical.*

**Keywords :** *distorsion, residual stress, quenching, shafting, finite element methods*

#### **PENDAHULUAN**

Proses perlakuan panas secara umum merupakan operasi pemanasan dengan pendinginan secara terkontrol untuk mendapatkan struktur dari material peripolis khusus yang merupakan kombinasi dari penyusunya. Banyak baja karbon yang di hasilkan dari proses perlakuan panas sehingga mempengaruhi atau merubah mechanical propertis suatu material, seperti tingkat kekerasan, tingkat ketangguhan, dan tingkat ketahanan terhadap korosi.

Elemen pokok dari beberapa perlakuan panas adalah, siklus pemanasan, temperatur penahanan, waktu dan siklus pendinginan. Laju pendinginan

tergantung pada dimensi material dan kapasitas dari oven pemanasan yang digunakan. Diasumsikan ketika bagian permukaan material di panaskan mencapai suhu yang ditentukan maka proses pemanasan telah selesai. Waktu penahanan tergantung pada tingkat kelarutan yang diinginkan, karena jumlah dan jenis karbida berbeda antara jenis baja yang satu dengan baja yang lainnya. Sedangkan waktu pendinginan akan mempengaruhi terjadinya perubahan struktur mikro dalam baja paduan.

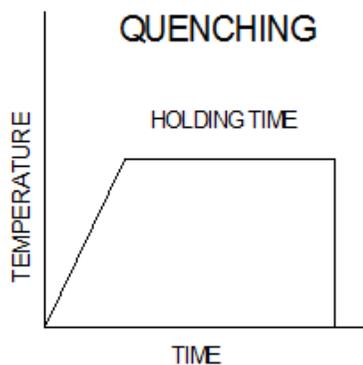
Sebagian besar perlakuan panas untuk baja melibatkan pendinginan berlanjut dari specimen

menuju temperatur ruang. Digram transformasi isothermal berlaku untuk kondisi dimana temperatur transformasinya adalah konstan, sehingga diagram tersebut harus di ubah untuk transformasi seiring dengan perubahan temperatur.

*Quenching* merupakan salah satu jenis perlakuan panas. Proses *Quenching* memiliki ciri yang khas jika di dibandingkan dengan proses perlakuan panas lainnya. Material yang mengalami proses *Quenching* harus didinginkan dengan seketika menggunakan berbagai medium pendingin. Proses pendinginan dengan cepatdi maksudkan untuk menghasilkan meterial dengan tingkat kekerasan yang tinggi atau mencapai fase martensite. Media yang di pakai dalam *Quenching* adalah: gaas, air, dan oli.

Persyaratan utama dari medium *Quenching* adalah harus dapat mendinginkan komponen cukup cepat untuk menghasilkan struktur material yang diinginkan. Jika kecepatan pendinginan terlampau cepat maka distorsi dan retak akan terjadi. Adapun beberapa langkah penndingan pada proses perlakuan panas *Quenching* adalah:

1. *Vapour Blanket Stage* (tahap selimut uap)  
Saat benda kerja dimasukan kedalam quenchant, quenchant akan meguap dan membentuk selimut disekeliling komponen. Tahap *vapour blanket* dapat dipersingkat dengan agitasi quenchant atau menggerakkan benda kerja ke dalam quenchant.
2. *Vapour Transport Stage* (tahap trasnport uap)  
dimana saat suhu benda kerja turun, selimut uap akan hilang dan cairan akan langsung bersentuhan dengan logan panas sehingga akan mendidih. Dan menyebabkan kurva pendinginan menjadi curam
3. *Liquid Transport Stage* (tahap transport cairan)  
Selama tahap ini, pendinginan logam terjadi melalui konduksi dan konveksi yang berlangsung sangat lambat daripada tahap *vapour transport*.



Gambar 1. Grafik quenching

Distorsi adalah perubahan bentuk material setelah dilakukan perlakuan panas, hal tersebut akan terjadi selama proses *Quenching*, secara umum tergantung ukuran bentuk dan karakteristik quenchant yang digunakan. Bentuk-bentuk bagian secara umum berubah dengan rasio yang lebih besar. Komposisi bagian-bagian tersebut juga penting apakah akan terjadi distorsi atau tidak.

Tegangan sisa adalah suatu tegangan yang tersimpan di dalam suatu material yang telah di berikan perlakuan panas, biasanya tegangan tersebut berkisar antara 5% sampai 10% dari tegangan yield material setelah dilakukan perlakuan panas *Quenching*. (Hardin R.A, C. Beckermann)

### METODOLOGI

Metode Elemen Hingga, konsep dasar yang melandasi metode ini adalah *diskritisasi* yang sebenarnya sudah di pergunakan manusia. Dengan menggunakan elemen dalam Ansys benda yang di modelkan bisa dikategorikan kedalam 2-dimensi atau 3-dimensi dan terdiri dari elemen titik, elemen garis, elemen area dan elemen solid. Dan elemen ini dapat dikombinasikan sesuai dengan kebutuhan.

Material yang digunakan pada analisa ini adalah jenis *Alloy Steel* yang biasanya digunakan sebagai poros baling-baling kapal maupun poros kemudi pada kapal. Adapun *Alloy Steel* yang digunakan adalah tipe AISI 4140. Material jenis sangat baik digunakan sebagai sistem peroporosan pada kapal karena tahan terhadap korosi. Adapun tabel mechanical propertise dan physical propertise sebagai syarat untuk menjalankan program Ansys 9.

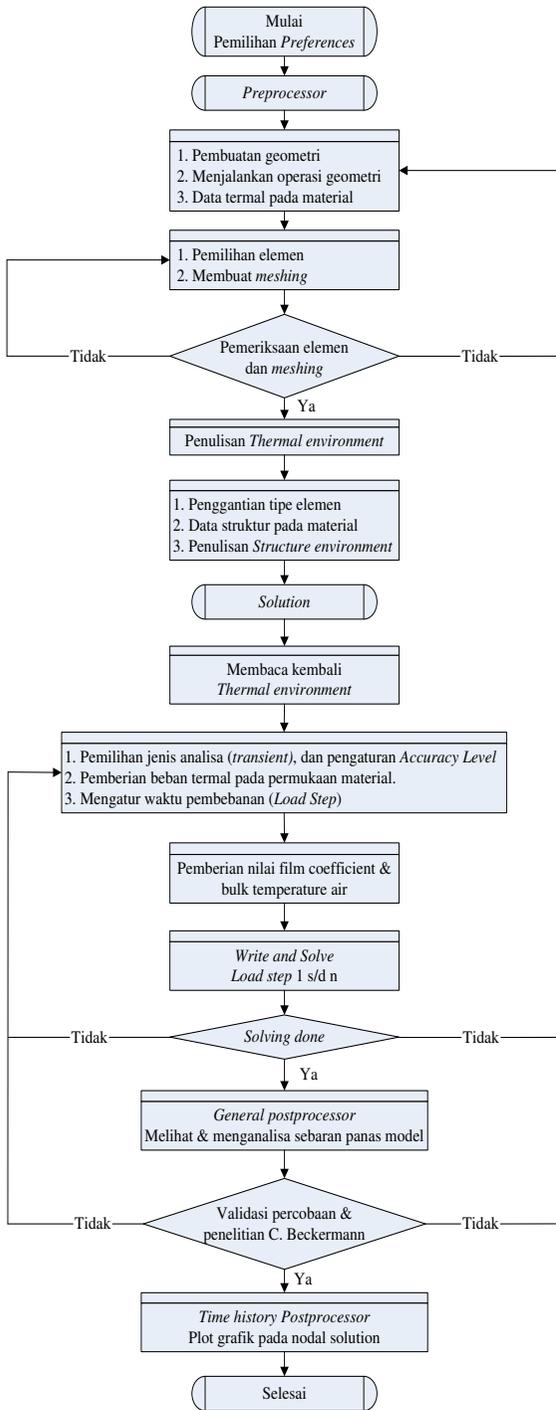
Tabel 1. Material propertise AISI 4140

Temperature (Celcius)	Elongation (%)	Yield Point (Psi)	TensileStreght (psi)
400	7.5	180000	197000
600	9	108000	125000
800	13.75	90000	106000
850	15	85600	97000

Tabel 2. Physical propertise AISI 4140

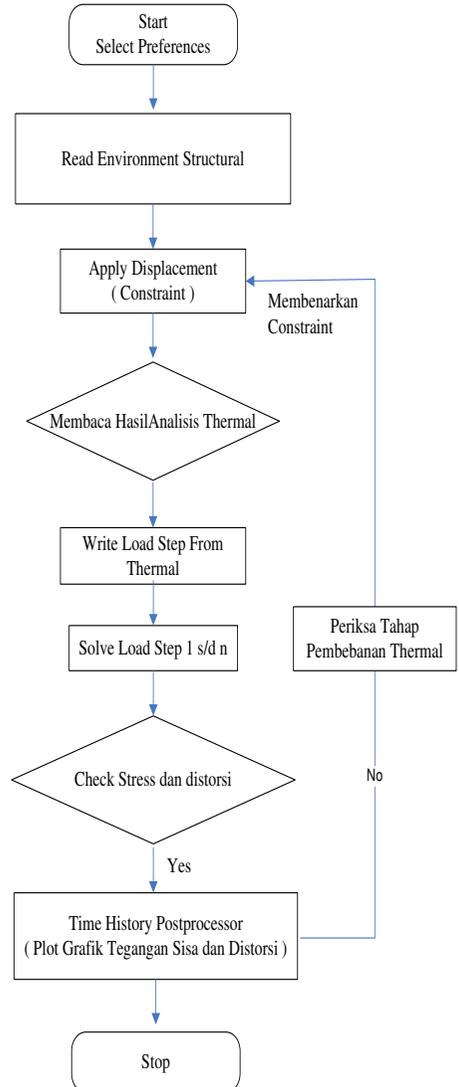
Thermal Conductivity W/(m*k)	Specific Heat J/(kg*k)	Density Kg/m <sup>3</sup>	Enthalphy
42.7	473	7.850x10 <sup>3</sup>	5.16E+7
Thermal Expansion <sup>0</sup> C <sup>-1</sup>	Poisson Ratio	Modulus Elasticity (Gpa)	Hardness (Rb)
1.22x10 <sup>-6</sup>	0.29	207	80

Analisis Distorsi dan Tegangan Sisa pada Poros Kapal terhadap Perlakuan Panas (Quenching) Menggunakan FEM (Mahendra Indriyanto)

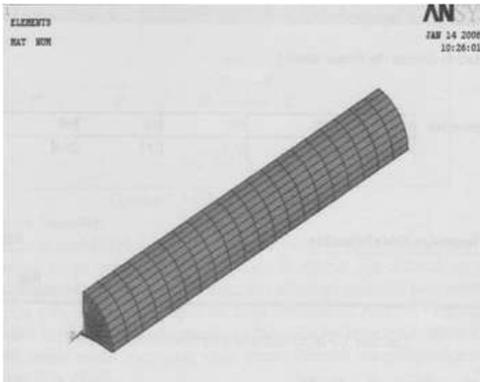


Gambar 2. Flowchart proses pembebanan thermal

Pembebanan pada material AISI 4140 di lakukan secara menyeluruh. Ada dua tipe pembebanan yang di berikan pada model poros yaitu, yang pertama model diberi beban suhu secara merata pada suhu 850°C lalu didinginkan dengan media air secara cepat pada temperatur ruang 25°C. Yang kedua permodelan struktur yang digunakan untuk mengetahui besarnya distorsi dan tegangan sisa pada model.



Gambar 3. Flowchart proses pembebanan struktural



Gambar 4. Bentuk meshing pada model

### ANALISA PEMBAHASAN

Untuk mempermudah dalam menjalankan program Ansys, maka pembagian elemen untuk poros tidak di bagi dengan ukuran yang sama, namun menggunakan fasilitas rasio dalam software. Hal ini berguna untuk membagi model menjadi beberapa elemen-elemen. Untuk pembebanan secara thermal menggunakan lama waktu pendinginan yaitu 0 detik, 3detik, 9 detik, 12 detik, dan seterusnya sampai 1000 detik.

Selain beban thermal ada beberapa kondisi batas yang dimasukkan pada permodelan, karena adanya kontak langsung antara permukaan poros dengan air sebagai media pendingin. Untuk itu ada faktor konveksi kedalam permodelan, yaitu

- Film Koefisien =  $2000W/m^2K$
- Bulk Temperatur = 298 K

Film koefisien merupakan koefisien faktor konveksi yang terjadi antara logam yang di panaskan dengan udara. Sedangkan Bulk Temperatur adalah koefisien yang pada saat proses pemanasan awal. Untuk mengetahui bentuk tegangan awal suatu material maka bisa menggunakan persamaan dasar sebagai berikut:

$$\sigma = E(\Delta l/l) \quad (1)$$

Dimana:

- $\sigma$  = Tegangan sisa yang terjadi.
- E = Modulus elastisitas.
- $\Delta l$  = Perubahan panjang sebelum & sesudah di beri pembebanan.
- l = Panjang sebelum dipotong.

Sedangkan untuk mengetahui tegangan sisa setelah dilakukan pembebanan baik secara thermal maupun struktural dapat menggunakan persamaan tegangan Von Mises ( $\sigma_e$ ) merupakan tegangan sisa total berdasarkan Ansys teori,

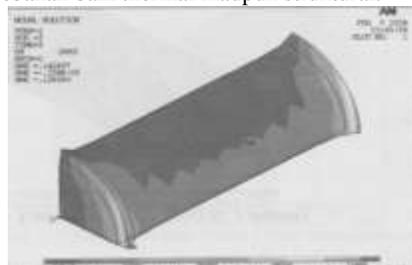
$$\sigma_e = (1/2[(\sigma_x\sigma_y)^2 + (\sigma_y\sigma_z)^2 + (\sigma_z\sigma_x)^2 + 6(\sigma_{xy}^2 + \sigma_{yz}^2 + \sigma_{xz}^2)])^{1/2} \quad (2)$$

Dimana:

- $\sigma_e$  = Tegangan Sisa (Von Mises).
- $\sigma_x$  = Tegangan sisa ke arah sumbu x.
- $\sigma_y$  = Tegangan sisa ke arah sumbu y.
- $\sigma_z$  = Tegangan sisa ke arah sumbu z.
- $\sigma_{xy}^2$  = Resultan tegangan sisa xy.
- $\sigma_{yz}^2$  = Resultan tegangan sisa yz.
- $\sigma_{xz}^2$  = Resultan tegangan sisa xz.

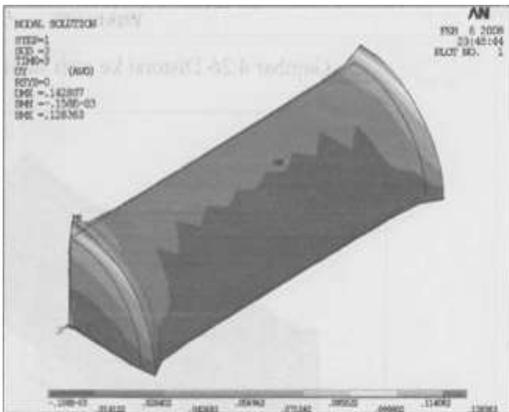
Dari hasil analisa dapat dilihat nilai terbesar dari bentuk distorsi pada setiap sumbu ditandai dengan warna merah pada sisi silindernya, dimana warna ini menunjukkan perubahan bentuk maksimal dari poros setelah di beri pembebanan struktural dalam skala mikro dari benda uji. Hal tersebut sama dengan nilai tegangan sisa yang terjadi, dimana bentuk atau arti fisik dari material poros tersebut mengalami perubahan warna, terutama warna merah yang menandakan tegangan sisa maksimum yang terjadi pada material. Adapun perbedaan pada setiap variasi pengujian adalah diameter yang digunakan, dimana fungsi variasi ini penting karena akan menentukan penggunaan poros berdasarkan batasan-batasan pada material AISI 4140 setelah dilakukan perlakuan panas, dan mengapa material AISI 4140 sangat cocok untuk dilakukan perlakuan panas karena material jenis ini adalah Alloy yang mempunyai tingkat kekerasan yang menengah, sehingga sangat bagus jika di beri perlakuan panas yang bertujuan untuk meningkatkan kekerasan material guna menahan Torque (momen puntir) pada poros saat baling-baling kapal berputar, terutama pada saat baling-baling kapal berputar pada kecepatan penuh yang mengakibatkan momen puntir pada poros menjadi sangat besar.

Berikut ini beberapa hasil analisa distorsi pada poros tipe AISI 4140 ke arah sumbu X, sumbu Y, Sumbu Z beserta tegangan sisa (Von Mises) berdasarkan Ansys teori yang terjadi setelah dilakukan proses pembebanan baik thermal maupun struktural.

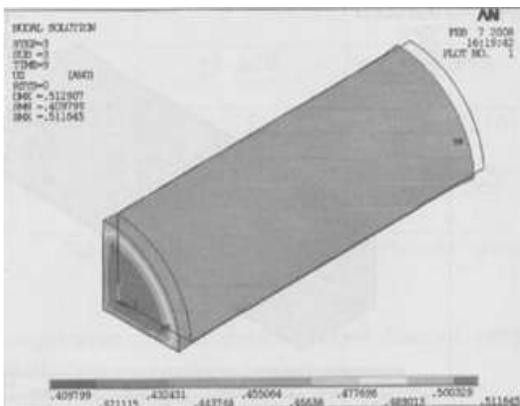


Gambar 5. Distorsi arah sumbu x

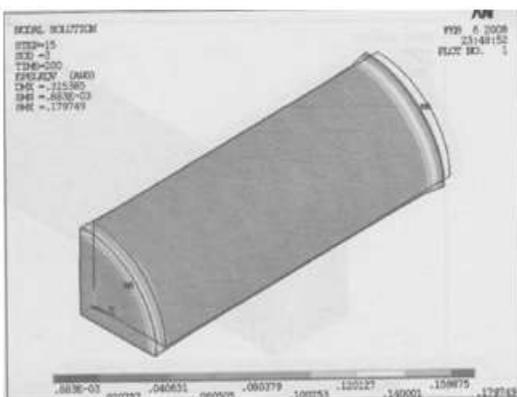
Analisis Distorsi dan Tegangan Sisa pada Poros Kapal terhadap Perlakuan Panas (Quenching) Menggunakan FEM (Mahendra Indriyanto)



Gambar 6 Distorsi arah sumbu Y



Gambar 7. Distorsi arah sumbu z



Gambar 8. Tegangan sisa

Berdasarkan pada masing – masing variasi proses pembebanan model maka dapat ditarik sebuah analisa dari proses permodelan tersebut.

1. Semakin besar diameter poros yang digunakan, maka semakin besar harga Distorsi ke arah sumbu X, sumbu Y, dan Sumbu Z
2. Untuk tegangan sisa yang terjadi relatif kondisinya terhadap setiap variasi tegangan.

Tabel 3. Hasil analisa permodelan

keterangan	Diameter 4cm	Diameter 6cm	Diameter 8cm	Diameter 10cm
Distorsi sumbu-x (cm)	$4.549 \times 10^{-3}$	$6.898 \times 10^{-3}$	$9.244 \times 10^{-3}$	$1.147 \times 10^{-2}$
Distorsi sumbu-y (cm)	$5.612 \times 10^{-3}$	$8.422 \times 10^{-3}$	$1.117 \times 10^{-2}$	$1.380 \times 10^{-2}$
Distorsi sumbu-z (cm)	0.602	1.982	1.498	4.175
Tegangan VonMise (Pa)	$1.303 \times 10^4$	$1.305 \times 10^4$	$1.304 \times 10^4$	$1.304 \times 10^4$

Keterangan:

- Hasil distorsi dan tegangan sisa diambil pada waktu tertentu, dimana didapat hasil maksimum pada setiap variasi.

**KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil permodelan analisa perlakuan panas (*Quenching*) pada poros, maka dapat dimpulkan bahwa distorsi pada arah sumbu x, sumbu y, sumbu z terkecil terjadi pada variasi yang pertama. Untuk harga tegangan sisa terjadi relatif sama, namun masih dibawah 10% dari tegangan Yieldnya. Kemudian semakin kecil diameter pada poros propeller setelah dilakukan perlakuan panas, maka semakin kecil pula harga distorsi dan tegangan sisanya.

**DAFTAR PUSTAKA**

Ansys 9 Documentation, Ansys  
 Djapire Sriati. (1990). *Metarulugi Mekanik*. Erlangga, Jakarta  
 Flether A.J. (1989). *Thermal Stress and Strain Generation in Heat Treatment*. Elsevier Science, London.  
 Hardin R.A, C. Beckermann. (1998). *Simulation Of Heat Treatment Distorsion*. The University Of Iowa. *J. Crystal Growth* 187 (1998) 289—302.  
 Totten, GE, Bates, CE, Clinton. (1993). *Handbook Of Quenchant And Quenching Technology*. ASM International. USA.

- Wirjosoedirdjo, J. S. (1979). Dasar-dasar Metode Elemen Hingga. Erlangga, Jakarta.
- B. Lynn Ferguson, Zhichao Li. (2010). Using Simulation for Heat Treat Process Design: Matching the Quenching Process with Steel Grade and Product Geometry. Deformation Control Technology, Inc., 7261 Engle Road, Suite 105, Cleveland, OH 44130, USA.